
基于合成复频波的超灵敏分子传感

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25878.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

基于合成复频波的超灵敏分子传感。近年来，随着公众对健康问题的日益重视，环境监测、食品安全和公共卫生等领域备受关注。痕量分子传感是其中至关重要的技术环节，决定了整体方案的有效性和实用性。然而，开发具备足够高灵敏度的传感技术来检测痕量分子仍然是一个挑战。

基于表面增强红外吸收（surface-enhanced infrared absorption，以下简称SEIRA）的光学传感由于无标记性、分子特异性和非侵入性的特点，是当前颇具潜力的检测技术。其原理是通过表面等离激元（surface plasmon polarization）与分子振动模式的耦合，实现强的光与物质相互作用，从而增强红外区域分子特征信号的检测灵敏度。当前，SEIRA传感器从最初的传统金属薄膜（金、铜等），转向采用具有更强增强性能的新型等离激元材料（石墨烯、硅、锗、氧化物和碳纳米管等）。其中，基于石墨烯等离激元的SEIRA传感器因其高灵敏度和主动可调性（通过栅极电压改变掺杂水平，拓宽检测频率范围）的优势备受瞩目。

然而，分子的固有阻尼会降低等离激元和分子振动之间的相互作用，使得检测的特征信号被削弱，具体表现为光谱中的特征峰/谷的相对高度减小和展宽变大。这个问题对痕量分子传感尤为致命，灵敏度将大幅降低，甚至导致特征信号被噪声淹没。

补偿分子阻尼的一种可能的方案是添加光学增益材料。但一般来说，这需要复杂的设置，并且还可能与检测系统不兼容。同时，增益材料通常会增加不稳定性和噪声。另一种可能是使用复频波（complex-frequency waves，简称CFW）。已有的理论研究表明，具有时间衰减的复频波可以修复由于材料阻尼引起的信息损失。但遗憾的是，在真实的光学系统中产生复频波仍然是一个难题，缺乏成熟可行的方案。

近日，来自香港大学张霜教授团队、国家纳米科学中心戴庆研究员团队和德国斯图加特大学刘娜教授合作，提出了一种提高分子传感灵敏度的新方法。该成果发表在eLight，题为Synthesized complex-frequency excitation for ultrasensitive molecular sensing。

这种方法通过多个实频率波合成复频波补偿分子阻尼，以增强分子特征信号。合成复频波的原理基于傅立叶变换，一个复频波可以视为所有实频率波乘以权重因子的组合叠加，这个权重因子恰好是以复频波频率为中心的洛伦兹分布。因此，实频率谱上的每个频率点都可以通过这种方法替换为对应的复频波，得到新的合成复频波谱。

研究团队通过实验证明，合成复频波使基于石墨烯的SEIRA传感器检测到的丝蛋白分子信号放大至少一个数量级，特别是将仅约1.2纳米厚的丝蛋白单分子层的信号提升了15倍。同时，合成复频波也适用于不同环境条件下的分子传感。研究团队成功地应用合成复频波来改善不同实验中的

分子信号，包括直接测量脱氧雪腐镰刀菌烯醇（DON）分子的多种振动模式，以及基于石墨烯的SEIRA传感器探测固相和水溶液中的蛋白质。

图1：三种不同条件下的分子传感实验。（a-b）直接探测DON分子的多种振动模式；（c-d）基于石墨烯的SEIRA传感器探测丝蛋白分子层；（e-f）基于石墨烯的SEIRA传感器探测水溶液中的BSA蛋白质。

该方法的优势在于可以极低成本地提高灵敏度。无需重复实验，只将已测得的实频率光谱进行合成的数值计算，便可得到几乎等价于真实复频波产生的光谱，避免了真实复频波实验困难。更为重要的一点是，该方法具有高度的泛用性而不局限于某种技术，可以与各种其他谱学检测技术无缝集成。

总结与展望

合成复频波的新方法对于各种SEIRA 传感乃至其他谱学检测技术具有高度的可扩展性，可以显著提高极微量分子的检测灵敏度，甚至有潜力探索各类因特征信号过弱而被忽视的物理现象。这种方法有可能改变整个分子传感领域，开发具有广泛应用的超灵敏传感器，促进早期疾病诊断，个性化医疗和有毒物质的快速检测等领域的发展。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1186/s43593-023-00058-y>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：张霜等 来源：eLight

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发